

Efeito da setorização no controle das pressões na rede de distribuição de água pela inserção de válvulas redutoras de pressão

Effect of sectoralization in the control of the pressures in the water distribution network, through the insertion of reducing pressure valves



• **Data de entrada:**
03/10/2018

• **Data de aprovação:**
08/04/2019

Daniela Moraes da Costa^{1*} | Jhully Laiane Souza da Silva¹ | Gilberto Caldeira Barreto² |
Monique Sandra Oliveira Dias Barreto²

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.066>

ORCID ID

Costa DM  <https://orcid.org/0000-0001-8222-6377>
Silva JLS  <https://orcid.org/0000-0003-1316-1607>

Barreto GC  <https://orcid.org/0000-0001-6471-8298>
Barreto MSOD  <https://orcid.org/0000-0002-7667-7451>

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o efeito da setorização no controle das pressões na rede de distribuição de água pela inserção de válvulas redutoras de pressão (VRP). O estudo de caso foi a rede de distribuição de água da Vila Residencial de Tucuruí -PA, para a qual foram propostas três concepções de setorização. Para isso, utilizou-se o software de simulação hidráulica EPANET 2.0 a fim de decidir a melhor concepção de setorização. As concepções foram denominadas cenários 1, 2 e 3. Esses cenários foram definidos (desenhados) considerando o conceito de Distrito de Medição e Controle (DMC), tamanho do setor e pressões requeridas, como recomenda a NBR 12218/2017. Além disso, foram avaliados os custos de substituição ou instalação de válvulas para a criação dos DMCs. Após as simulações dos cenários, observou-se que o cenário 3 apresentou o melhor desempenho hidráulico, atendendo em 99% as pressões requeridas na rede.

Palavras-chave: Setorização. Rede de distribuição de água. EPANET 2.0. DMC. Pressão. Válvulas.

Abstract

The present study aims to present the effect of the sectorization in the control of the pressures in the water distribution network, through the insertion of pressure reducing valves (VRP). The case study was applied to the water distribution network of Vila Residencial of Tucuruí - PA, which proposed three conceptions of sectorization. For this purpose, the EPANET 2.0 hydraulic simulation software was used to decide the best sector design. The conceptions were called scenarios: 1, 2 and 3. These scenarios were defined (drawn) considering the concept of Measurement and Control District (DMC), sector size and required pressures, as recommended by NBR 12218/2017. In addition, the costs of replacing or installing valves to create the DMCs were evaluated. After simulations of the scenarios, it was observed that scenario 3 presented the best hydraulic performance, attending 99% of the required pressures in the network.

Keywords: Sectorization. Water distribution network. EPANET 2.0. DMC. Pressure. Valves.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Pará (IFPA) - Tucuruí - Pará - Brasil.

² Universidade Federal do Pará (UFPA) - Belém - Pará - Brasil.

* **Autora correspondente:** danielamoraes@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Visando beneficiar o planejamento e o controle da operação, é de fundamental importância o controle da pressão na rede, para a redução de perdas reais (físicas) em sistemas urbanos de distribuição de água tratada (BEZERRA et al., 2010).

Para Gomes (2011), uma alternativa para o equilíbrio das pressões do sistema de distribuição é a setorização de redes, que consiste basicamente na divisão de uma rede em setores isolados. Dessa maneira, permite o razoável controle de pressões e o aperfeiçoamento da operação e manutenção das redes por meio do fechamento de válvulas de manobra.

De acordo com Oliveira (2013), a instalação de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP) pressupõe a delimitação de um subsetor perfeitamente isolado, configurando um Distrito de Medição e Controle (DMC). Segundo Motta (2010), um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) seria totalmente eficiente se sua rede de distribuição atendessem ao nível de pressão mínimo aceitável, sem nunca comprometer o pleno fornecimento de água.

Portanto, a utilização de ferramentas computacionais nas diversas áreas de engenharia vem se tornando cada vez mais frequente e necessária para a setorização de redes de distribuição de água, pois há economia de tempo e possibilidade de realizar análises mais detalhadas da rede (DIUANA E OGAWA, 2015).

Há diversos simuladores hidráulicos disponíveis para a modelagem e simulação de sistemas de distribuição de água. Dentre os programas de simulação hidráulica, destaca-se o EPANET 2.0,

pois, segundo Rossman et. al (2000), trata-se de um programa de fácil utilização, com versões nos principais idiomas.

Como a setorização é uma medida estratégica que vem apresentando grande eficácia no controle das pressões na rede de distribuição de água, este trabalho tem como objetivo apresentar o efeito da setorização no controle das pressões na rede de distribuição de água por meio da inserção de VRP. Considerou-se como área de estudo a rede de distribuição de água da Vila Residencial de Tucuruí - PA, para a qual foram propostas três concepções de setorização. Para isso utilizou-se o simulador hidráulico EPANET 2.0 a fim de analisar o comportamento das pressões do setor após dividi-lo em DMC e inserir VRPs.

2 METODOLOGIA

Considerou-se como área de estudo a rede de distribuição de água da Vila Residencial, localizada no município de Tucuruí - Pará (Fig. 1).

A rede de distribuição em estudo ocupa uma área entorno de 5.29 km², responsável pelo fornecimento de água tratada de 2.564 residências (Setor de Saneamento da Vila Residencial, 2018). A população da Vila é de aproximadamente de 10.540 habitantes¹, o que resulta em uma ocupação média de quatro (04) habitantes por domicílio², com consumo per capita de água de 835,65 L/hab. dia³.

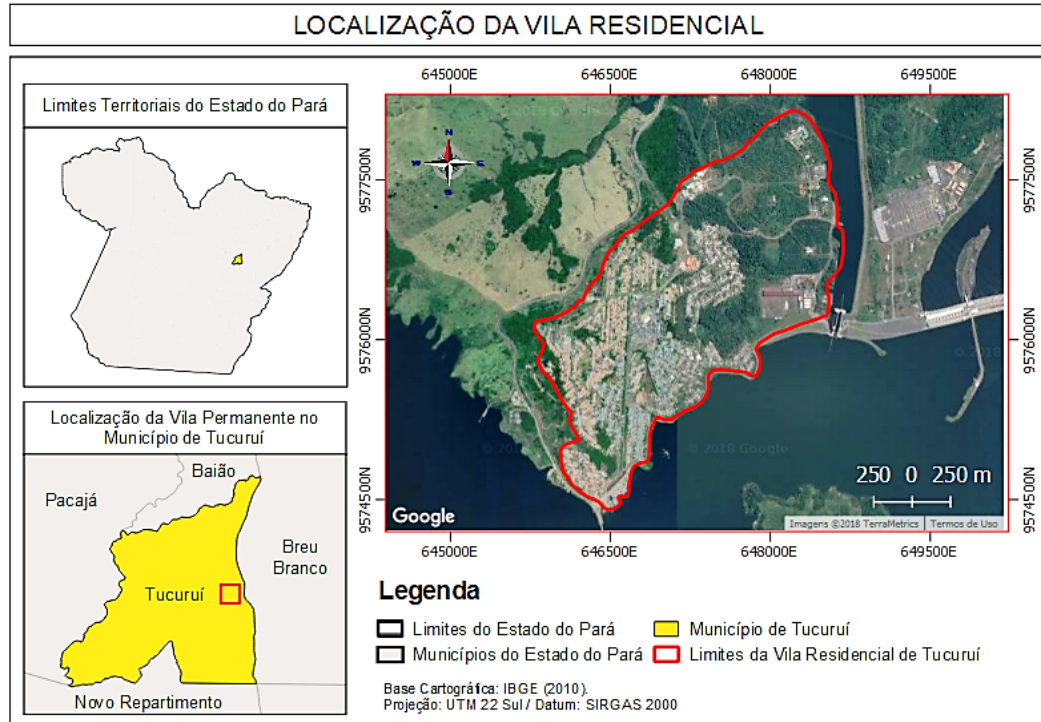
Os diâmetros da rede variam de 65 mm a 450 mm, com predominância do diâmetro de 75 mm, como mostra a Tabela 1.

¹ População estimada com base no dado censitário de 2010 e estimativa populacional 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

² Ocupação média calculada com base na população e número de residências (população dividida pelo número de residências).

³ Per capita calculada considerando o volume mensal distribuído (Setor de Saneamento da Vila Residencial da Eletronorte, 2018) e a população total, utilizando a seguinte equação: $q = (\text{vol. dist. mês (L)}) / (\text{dias do mes} \times \text{pop.})$. Onde: q = per capita (L/hab.dia);

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autoras, 2018.

Tabela 1: Diâmetros e extensão da rede de distribuição da Vila Residencial.

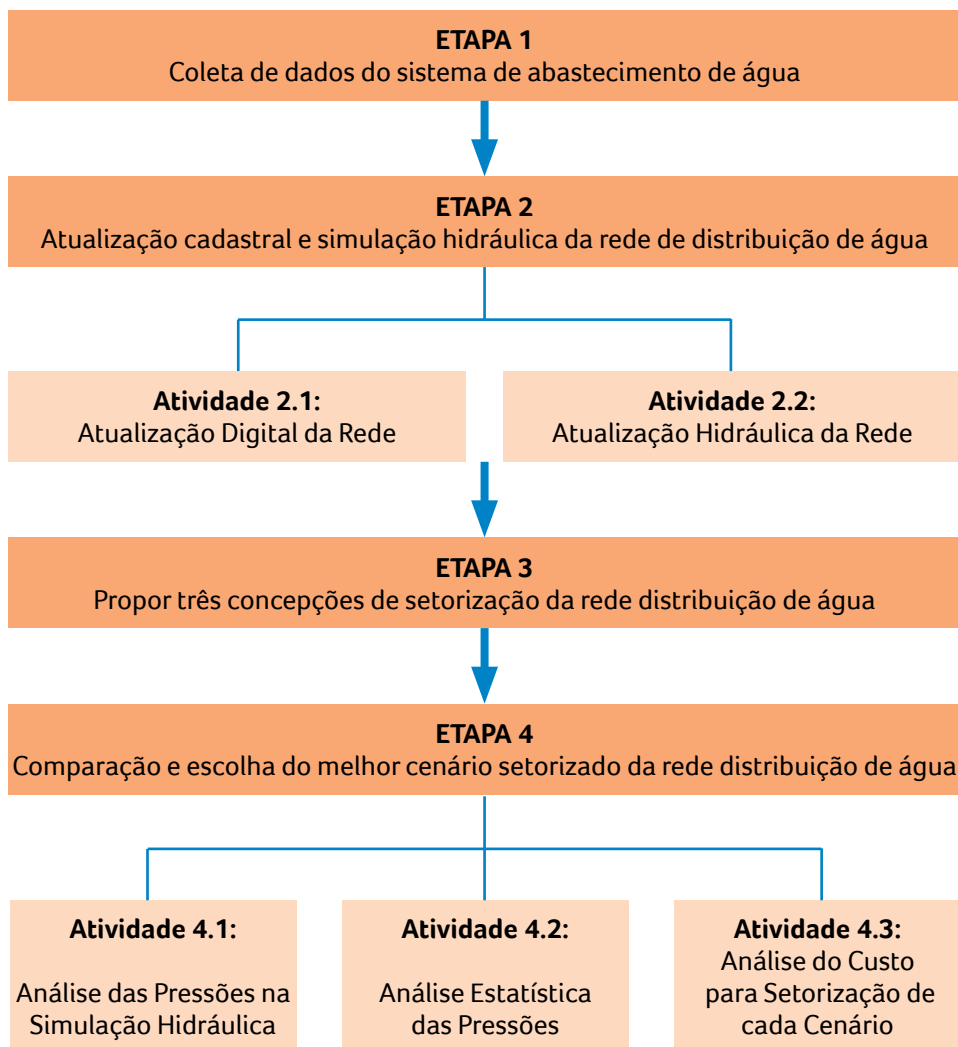
Rede de Distribuição	
Diâmetro (mm)	Extensão (m)
65	159,17
75	12.574,13
100	6.796,36
112	1.175,80
150	11.059,03
200	2.063,50
250	2.797,34
300	561,09
400	1.337,37
450	995,26
Extensão Total	39.519,05

Fonte: Autoras, 2018.

A rede de distribuição de água da Vila Residencial foi escolhida por não ser setorizada e ter mais de 40 anos de operação, o que aponta para dados confiáveis em relação às pressões internas da rede. Tais pressões são extremamente elevadas e não estão dentro dos valores estabelecidos pela NBR 12218/2017, que trata do Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Vale salientar que o município de Tucuruí não realiza cobrança pelo fornecimento de água.

A metodologia utilizada neste trabalho dividiu-se em quatro etapas, conforme apresentado na Fig. 2.

Figura 2: Etapas do trabalho.



Fonte: Autoras, 2018.

Etapa 1: Coleta de Dados do Sistema de Abastecimento de Água

Nesta etapa foi realizado o levantamento de informações fidedignas das características físicas e de funcionamento do SAA em estudo. Os dados coletados foram do tipo primário e secundário, obtidos por meio de solicitação formal junto à entidade gestora do setor de saneamento. Para isso, foram feitas visitas in loco em todas as unidades que compõem o SAA, junto com o representante técnico da entidade gestora.

Etapa 2: Atualização Cadastral e Simulação Hidráulica da Rede de Distribuição de Água

O arquivo digital da rede de distribuição foi atualizado utilizando os dados obtidos na etapa anterior, dados estes inseridos nos softwares AutoCAD, em seguida, no EPANET 2.0.

Atividade 2.1: Atualização Digital da Rede

No que diz respeito à atualização digital da rede, no programa AutoCAD foram inseridos os trechos da

rede de distribuição existentes que não constavam no arquivo DWG, bem como seus respectivos diâmetros, introduzindo também, as válvulas existentes na rede que não estavam também no arquivo, em suas respectivas localizações, assim como foram excluídas as redes não mais existentes.

Atividade 2.2: Atualização Hidráulica da Rede

A atualização e a simulação hidráulica da rede foram feitas no software EPANET 2.0, onde foram inseridos os dados fornecidos pela entidade gestora. Foram inseridos também os componentes físicos e não-físicos, componentes estes de extrema importância, pois só é possível a simulação hidráulica no software se tais componentes forem inseridos. Após configurar os componentes deu-se início à criação da curva de volume, histograma de vazão e padrão temporal.

Etapa 3: Propor Três Concepções de Setorização da Rede Distribuição de Água

Nesta etapa, foram desenhadas três possíveis concepções de cenários de setorização da rede de distribuição, a fim de adequar as pressões internas da rede, de acordo com o estabelecido na NBR 12.218/2017. Os critérios utilizados para a setorização da rede foram: critério hidráulico (pressão), operacional (mais simples/menos válvulas) e econômico (menos oneroso). Essa etapa foi relacionada à aplicabilidade otimizada das VRP na rede, visando avaliar em qual situação a inclusão ou substituição de válvula de gaveta (VG) por VRP torna o dimensionamento mais adequado, proporcionando benefícios hidráulicos e econômicos para a setorização da rede de distribuição.

Etapa 4: Comparação e Escolha do Melhor Cenário Setorizado da Rede de Distribuição de Água

Nesta etapa foi escolhida a melhor concepção de setorização da rede de distribuição de água da

Vila Residencial por meio de análise hidráulica e econômica de cada cenário.

Atividade 4.1: Análise das Pressões na Simulação Hidráulica

Para a análise das pressões na rede dos cenários, foram gerados no EPANET 2.0, gráficos de isolinhas de cada cenário, a fim de obter uma melhor visualização das zonas de pressões acima de 50 mca.

Atividade 4.2: Análise Estatística das Pressões

Foram feitos histogramas horário de pressão, referentes à simulação das 24 horas do dia no Microsoft Excel, cujo objetivo foi comparar o comportamento das pressões dos cenários.

Atividade 4.3: Análise de Custo para a Setorização de cada Cenário.

Para determinação do custo da setorização de cada concepção, fez-se um orçamento de custo com aquisição das válvulas de cada cenário.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho serão apresentados e discutidos conforme a sequência de execução da metodologia descrita.

Etapa 1: Coleta de Dados do Sistema de Abastecimento de Água

Para a execução deste trabalho foi necessário, em primeiro lugar, recolher diferentes tipos de dados do sistema de abastecimento de água da Vila Residencial, junto à entidade gestora (Setor Administrativo da Vila Residencial). Para isso foram feitas visitas in loco em cada unidade do SAA, junto com um responsável técnico. O foco principal dessas visitas foi obter o máximo possível de informações sobre o sistema operacio-

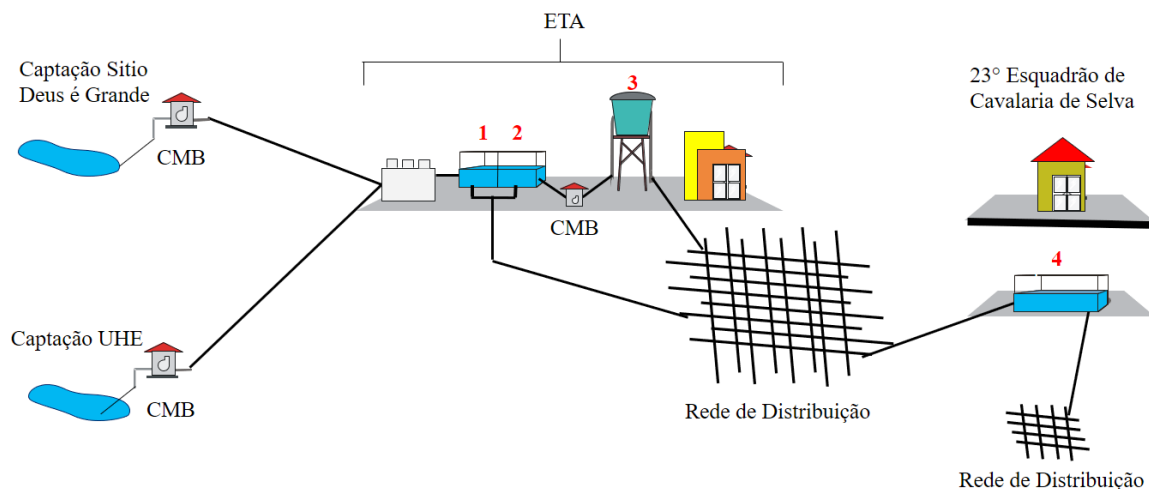
nal da rede em estudo. É importante frisar que não foi possível ter acesso aos dados referentes ao índice de perdas reais, pois a Eletronorte/Eletronorte não possui medidor de vazão na saída da ETA e devido à não cobrança pelo abastecimento de água, também não existem hidrômetros nos ramais prediais. Portanto, carecendo da falta de informação de tais dados, o mesmo não será abordado no decorrer deste estudo.

A água utilizada no sistema de abastecimento da Vila Residencial é de origem superficial, captada do reservatório do Lago da Usina Hidrelétrica da Eletrobrás - UHE e do Sítio Deus é Grande. Cada captação é feita por conjunto motor bomba (CMB). Vale ressaltar que ambas as captações funcionam de forma alternada, sendo que a captação do Sítio Deus é Grande só opera quando a captação do lago UHE está em manutenção.

A adutora de água bruta do lago UHE é de diâmetro de 450 mm, e o diâmetro da adutora do Sítio Deus é Grande de 300 mm. Estas conduzem a água até a ETA que está localizada na parte alta da Vila. Após o tratamento, a água é armazenada em quatro (4) reservatórios, responsáveis por abastecer toda a Vila Residencial, distribuição feita por gravidade. Três dos reservatórios estão localizados na ETA, sendo dois (2) semi-aterrados, um do lado do outro com capacidade de reserva de 1593 m³ cada, e um (1) elevado que reserva 40 m³ de água; o quarto (4) reservatório possui capacidade de reservar 2000 m³ de água e é abastecido pelos dois reservatórios semiaterados que estão na ETA.

A “representação” do SAA da Vila Residencial está ilustrada na Fig. 3.

Figura 3: Exemplificação do SAA da Vila Residencial.



Fonte: Adaptado de Pereira e Condurú, 2010.

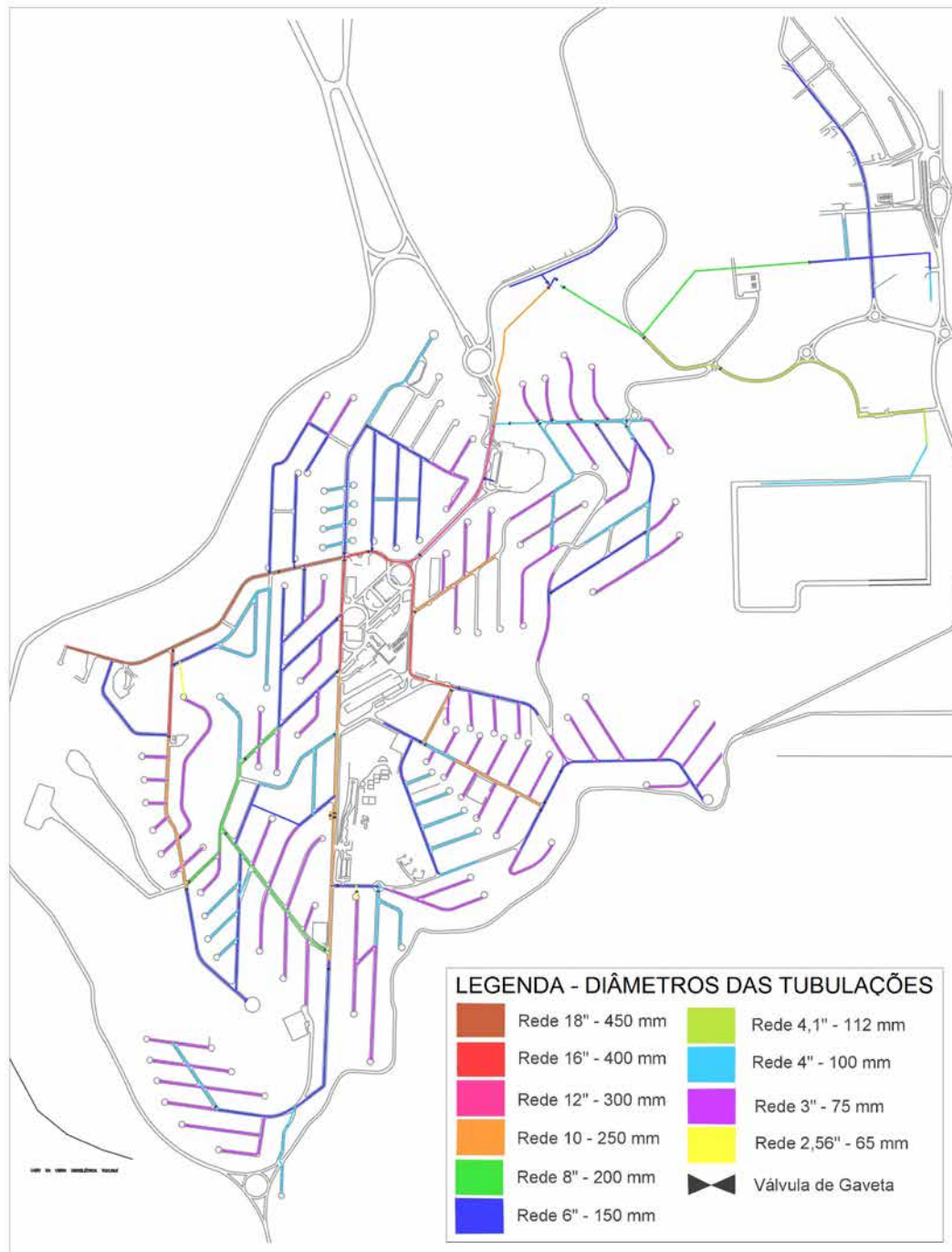
Existem instalações em diferentes locais da rede 57 VG, sendo estas utilizadas apenas para manobra de manutenção. É importante destacar que a maioria (cerca de 70%) das tubulações da rede é de material amianto, e os outros

30% são constituídos em PVC, e que a área da Vila Residencial possui declividade acentuada, com grande variação de cota topográfica de uma área para outra, sendo a variação de 53 a 196,5 m.

Etapa 2: Atualização Cadastral e Simulação da Rede de Distribuição de Água da Vila Residencial

Nesta etapa foi atualizada a rede por meio dos dados obtidos na etapa anterior com o auxílio do programa AutoCAD e EPANET 2.0, conforme mostra a Fig. 4.

Figura 4: Rede de distribuição de água da Vila Residencial atualizada.



Fonte: Autoras, 2019.

Atividade 2.1: Atualização Digital da Rede

Foram inseridos os traçados da rede, bem como seus respectivos diâmetros, cotas topográficas e localização das VG, disponibilizados pela entidade gestora da Vila Residencial, onde foi possível extrair as informações referentes à extensão total da rede, que é de aproximadamente de 39.519 metros.

Atividade 2.2: Atualização Hidráulica da Rede

Para a atualização Hidráulica da rede, inseriram-se os componentes físicos e não físicos no software EPANET 2.0, associado a estes um conjunto de propriedades, a que foram atribuídos valores predefinidos. Para a configuração dos componentes físicos, foram adicionados os dados coletados na etapa 1, dados estes expostos na Tabela 2.

Tabela 2: Características Operacionais do Sistema de Distribuição de Água.

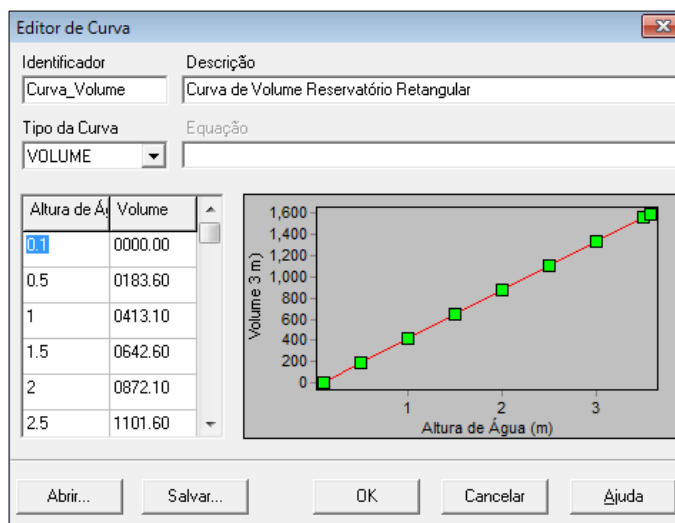
Reservatório de nível fixo (RNF)	Nível de água (m)	-
Bomba (CMB)	Potência (CV)	500
	Cota (m)	196,5
Reservatório de nível variado (RNF)	Altura da água inicial (m)	4
	Altura da água mínima (m)	0,3
	Altura de água máxima (m)	3,7

Fonte: Adaptado de Setor de Saneamento da Vila Residencial, 2018.

Após a inserção dos dados e dispositivos padrões, inseriu-se também no software as válvulas existentes na rede, totalizando 57 VG, em seus respectivos nós e diâmetros.

Para a criação da Curva do Volume foram inseridos dados de altura da água e Volume, utilizando uma planilha de vazão de distribuição fornecida pela entidade gestora (Fig. 5).

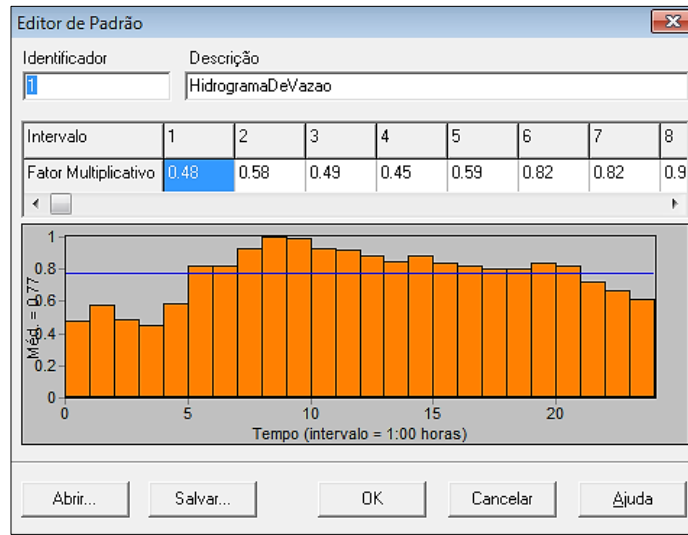
Figura 5: Curva do volume.



Fonte: EPANET 2.0.

Já para criação do hidrograma de vazão foram inseridos os fatores multiplicativos referentes

à vazão de distribuição horária ao longo das 24 horas do dia, como mostra a Fig. 6.

Figura 6: Hidrograma horário de vazão.

Fonte: EPANET 2.0.

Por fim, utilizou-se um padrão de 24 horas para simular as pressões na rede ao longo do dia. Logo, foi possível analisar as variações das pressões internas da rede, observou-se que as mesmas obtidas nesta simulação se encontram no intervalo compreendido entre os 13,48 a 156,77 mca.

Com as informações obtidas diagnosticaram-se algumas zonas onde a pressão ultrapassa valor máximo recomendado pela NBR12218/2017, de 50 mca, pressões essas que comprometem a eficiência da distribuição de água, pois pressões acima de 50 mca podem causar rupturas nas tubulações e conseqüentemente perdas reais de água. Portanto, a setorização da rede de distribuição de água com inserção de VRPs geralmente é uma alternativa econômica para diminuir a pressão na rede e, conseqüentemente, reduzir o número de vazamentos nas redes de distribuição e nos ramais prediais. A setorização traria inúmeros benefícios, como: gestão das pressões no sistema, redução de gastos na manutenção da rede causados por rupturas e satisfação dos clientes.

Etapa 3: Propor Três Concepções de Setorização da Rede Distribuição de Água

Com o intuito de adequar as pressões internas da rede distribuição da Vila Residencial conforme recomenda a NBR 12218/2017, foram propostas três concepções de cenários setorizados da rede, por meio da inclusão ou substituição de VG por VRP no programa EPANET 2.0. Vale salientar que, como a rede de distribuição de água da Vila Residencial está implantada em uma região com topografia acidentada, é permitido pela norma que a pressão máxima estática chegue até 50 mca.

Os critérios utilizados para inserção ou substituição de VG por VRP foram: critérios hidráulicos (pressão), operacional (mais simples/menos válvulas) e econômico (menos oneroso). As concepções de setorização foram denominadas de cenários 1, 2 e 3.

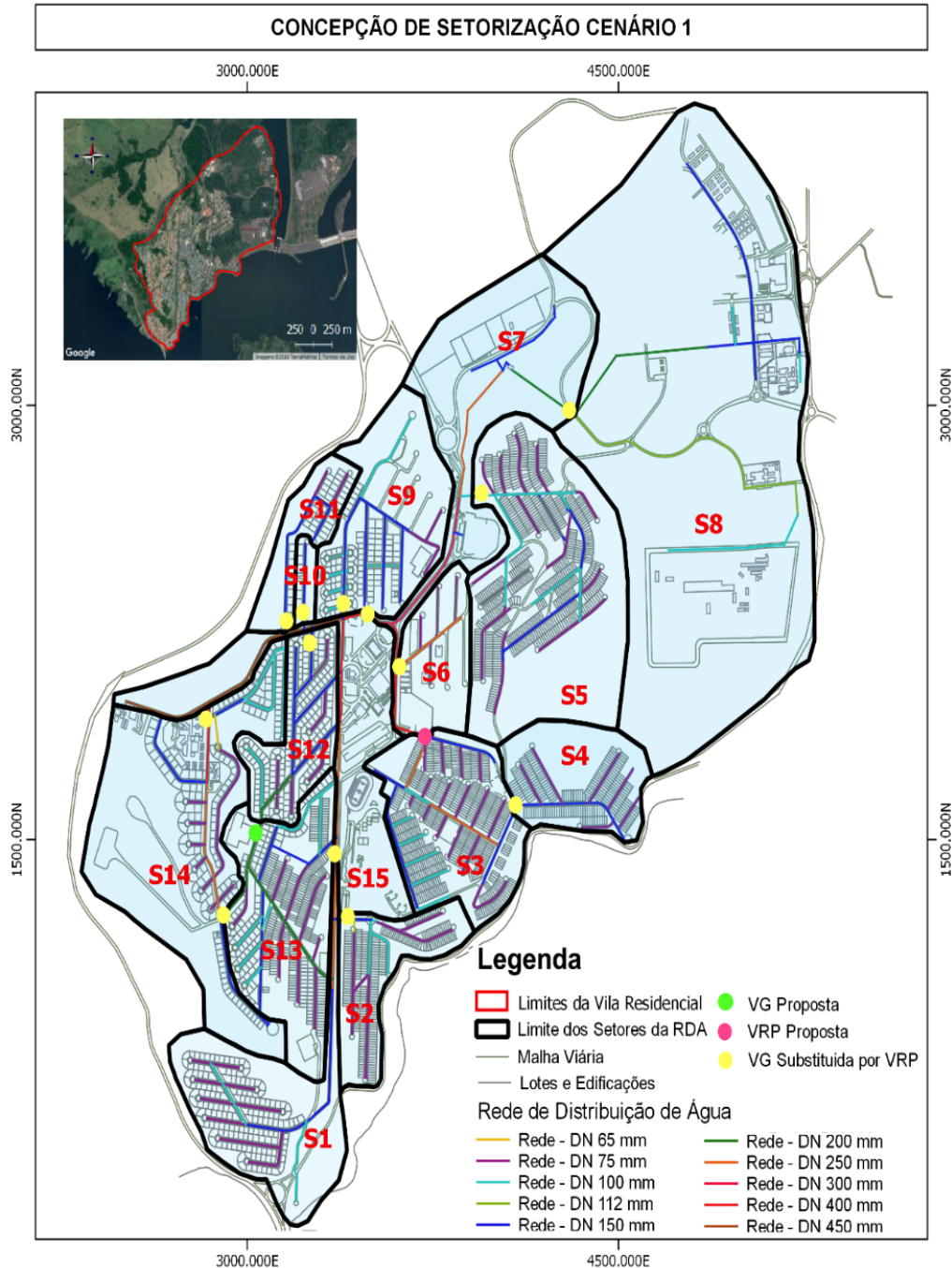
É importante destacar no projeto de implantação das VRPs que a empresa faça uso de filtro a montante das válvulas redutoras de pressão, pois tal

ação permite a proteção da mesma, e também do medidor de vazão. Caso não fosse instalado o filtro, poderia ocorrer desabastecimento devido a alguma obstrução ou desgaste prematuro na válvula, por exemplo.

Simulação do Cenário 1

Este cenário é constituído por 365 nós e 318 trechos, divididos em 15 DMCs (Fig. 7). No cenário modelado existem 45 VG e 14 VRP, totalizando 59 válvulas.

Figura 7: DMCs do cenário 1.

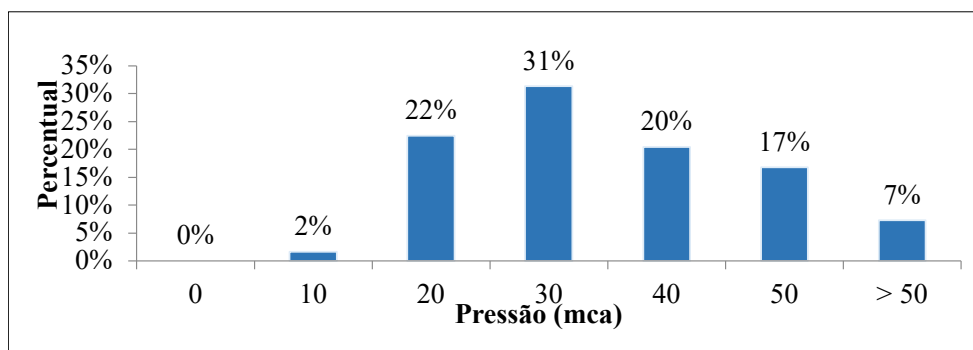


Fonte: Autoras, 2018.

Para a primeira concepção de setorização da rede, foram manobradas algumas VG existentes e substituídas determinadas VG por VRP, além de instalar 1 VRP e 1 VG, a fim setorizar e limitar as pressões num determinado ponto da rede.

Após a divisão da rede em DMC observou-se que as pressões variam de 10 a 105,84 mca, ao longo das 24 horas do dia, sendo que 7% dos nós estão com pressão acima de 50 mca, conforme apresentado na Fig. 8.

Figura 8: Histograma das pressões do cenário 1.



Fonte: Autoras, 2018.

Nesta concepção de setorização, alguns nós de determinados DMCs ultrapassaram as pressões máxima de 50 mca estabelecidas pela NBR 12218/2017. Os setores que não atenderam

completamente às recomendações da norma foram os setores: 03, 05, 07, 09, 13 e 15. Na Tabela 3 é possível visualizar as pressões máxima e mínima de todos os setores do cenário 1.

Tabela 3: Pressões dos setores do cenário 1.

Setor	Pressão Mínima			Pressão Máxima		
	Nó	Cota	mca	Nó	Cota	mca
01	n111	103	15,54	n115	80	38,91
02	n85	104	10,85	n206	75	39,97
03	n219	136	10,93	n203	85	61,89
04	n326	94	10,98	n80	73,5	31,47
05	n18	124	11,43	n25	74	61,45
06	n353	146	10,00	n267	112	44,00
07	n289	161	10,00	n344	65	105,86
08	n185	65	10,00	n282	54	20,98
09	n122	187	10,93	n129	143	54,94
10	n136	179	13,00	n309	177	15,00
11	n133	182,5	14,50	n247	164,5	32,50
12	n37	176	15,00	n172	143	47,96
13	n293	159	11,90	n296	100	70,98
14	n290	193	15,00	n367	159	48,98
15	n163	196,6	13,50	n226	120	89,84

Fonte: Autoras, 2018.

Ao obter os resultados, observou-se que não foi possível, em todos os nós, atender aos parâmetros exigidos pela norma, que é a pressão estática máxima de 50 mca. No entanto, com a instalação das VRPs, foi possível verificar em qual posiciona-

mento as válvulas produzem o melhor desempenho em relação à redução das pressões e se realmente é necessária a instalação da VRP. A seguir, na Tabela 4, é apresentado o panorama geral dos setores do cenário 1, após a criação dos DMCs.

Tabela 4: Panorama geral do cenário 1.

DMC (Setor)	Área (km ²)	Extensão de Rede (km)	Nº de Válvulas	
			VRP	VG
1	0,31	3,20	1	2
2	0,16	1,91	1	2
3	0,30	4,15	1	6
4	0,20	1,66	1	0
5	0,58	4,85	1	11
6	0,15	1,26	1	1
7	0,42	2,16	1	6
8	1,41	3,87	1	2
9	0,29	2,81	1	2
10	0,02	0,30	1	0
11	0,10	0,96	1	0
12	0,16	2,42	1	4
13	0,32	4,36	1	3
14	0,56	3,70	1	4

Fonte: Autoras, 2018.

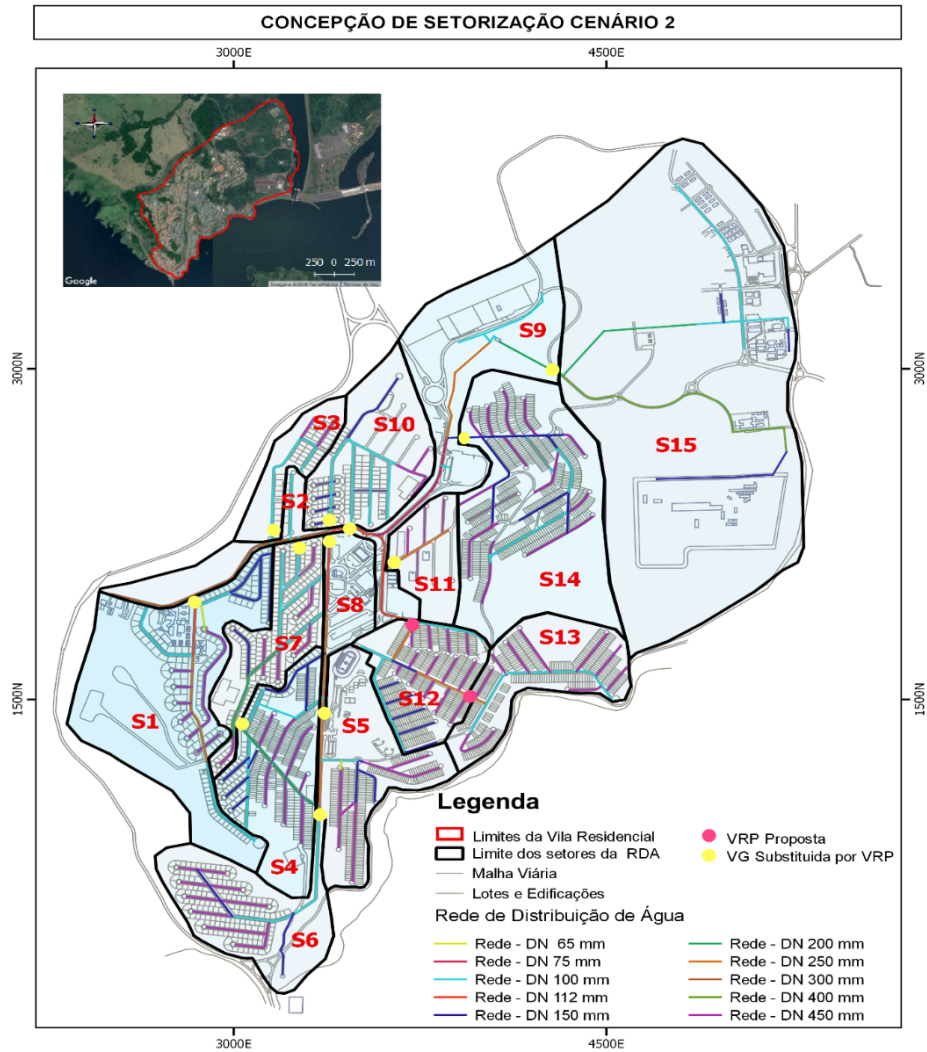
Como pode ser observado na Tabela 4, para a concepção de setorização do cenário 1, a rede de distribuição da Vila Residencial foi dividida em DMC, onde determinados DMCs são controlados por uma VRP, obtendo-se assim a redução significativa na pressão a jusante da válvula. O único DMC insento de VRP é o setor 15, pois, mesmo que se instale uma VRP, as pressões continuam acima de 50 mca devido à declividade topográ-

fica. Vale ressaltar que as VG existentes nos respectivos DMCs são usadas exclusivamente para manutenções corretivas e preventivas na rede.

Simulação do Cenário 2.

Este cenário possui 364 nós e 317 trechos, divididos em 15 DMCs (Fig. 9). No cenário modelado existem 45 VG e 14 VRP, totalizando 59 válvulas.

Figura 9: DMCs do cenário 2.

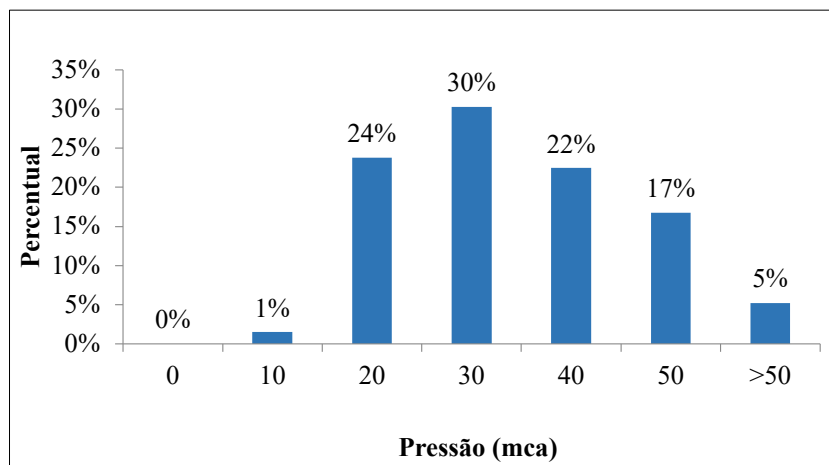


Fonte: Autoras, 2018.

Para a segunda concepção de setorização da rede de distribuição de água, foram manobradas (closed) algumas VGs existentes e substituídas determinadas VG por VRP, além de acrescentar 2 VRP a fim de limitar as pressões num determinado ponto da rede.

Após a divisão da rede em DMC, observou-se que as pressões variam de 10 a 105,86 mca, ao longo das 24 horas do dia, sendo que 5% dos nós estão acima de 50 mca, como mostra a Fig. 10.

Figura 10: Histograma das pressões do cenário 2.



Fonte: Autoras, 2018.

Nesta concepção de setorização, alguns nós de determinados DMCs ultrapassaram também as pressões máximas de 50 mca estabelecidas pela NBR 12218/2017. Os setores que não atenderam

completamente às recomendações da norma foram: 01, 04, 08, 09 e 14. Na Tabela 5 é possível observar as pressões máxima e mínima de todos os setores do cenário 1.

Tabela 5: Pressões dos setores do cenário 2.

Setor	Pressão Mínima			Pressão Máxima		
	Nó	Cota	mca	Nó	Cota	mca
1	n360	196,5	11,5	n224	150	58,00
2	n163	196,5	13,48	n312	163	46,94
3	n308	182	11,00	n247	164,5	28,49
4	n150	159	10,98	n271	100	66,99
5	n304	109	10,00	n206	75	43,96
6	n111	103	10,58	n115	80	33,91
7	n230	179	12,33	n169	150	40,95
8	n240	161	11,00	n226	120	51,98
9	n289	161	10,00	n344	65	105,86
10	n127	185	12,92	n14	148	49,94
11	n216	137,5	10,49	n267	112	36,00
12	n219	136	10,94	n265	97	50,00
13	n53	100	10,00	n80	73,5	36,46
14	n274	120	15,50	n25	74	62,45
15	n185	65	10,00	n188	53	21,98

Fonte: Autoras, 2018.

Com os resultados, constatou-se que não se conseguiu, em todos os nós, atender aos parâmetros exigidos pela norma vigente. Logo, notou-se uma melhoria considerável do desempenho da

rede, e se realmente é necessário a instalação da VRP. A seguir, na Tabela 6, é apresentado o panorama geral dos setores do cenário 2, após a criação dos DMCs.

Tabela 6: Panorama geral do cenário 2.

DMC (Setor)	Área (km ²)	Extensão de Rede (km)	Nº de Válvulas	
			VRP	VG
1	0,56	3,70	1	4
2	0,11	1,40	0	2
3	0,11	0,96	1	0
4	0,3	3,79	1	2
5	0,29	2,42	1	3
6	0,28	2,70	1	1
7	0,21	3,00	1	4
8	0,11	0,81	1	0
9	0,44	2,50	1	7
10	0,27	2,81	1	2
11	0,13	0,91	1	0
12	0,21	3,42	1	3
13	0,24	2,40	1	4
14	0,61	4,85	1	11
15	1,42	3,87	1	2
TOTAL	5,29	39,52	14	45

Fonte: Autoras, 2018.

Como pode ser observado na Tabela 6, para a proposta de setorização do cenário 2, a rede de distribuição da Vila Residencial foi dividida em DMC, onde cada DMC é controlado por uma VRP, obtendo-se, assim, a redução significativa na pressão a jusante da válvula.

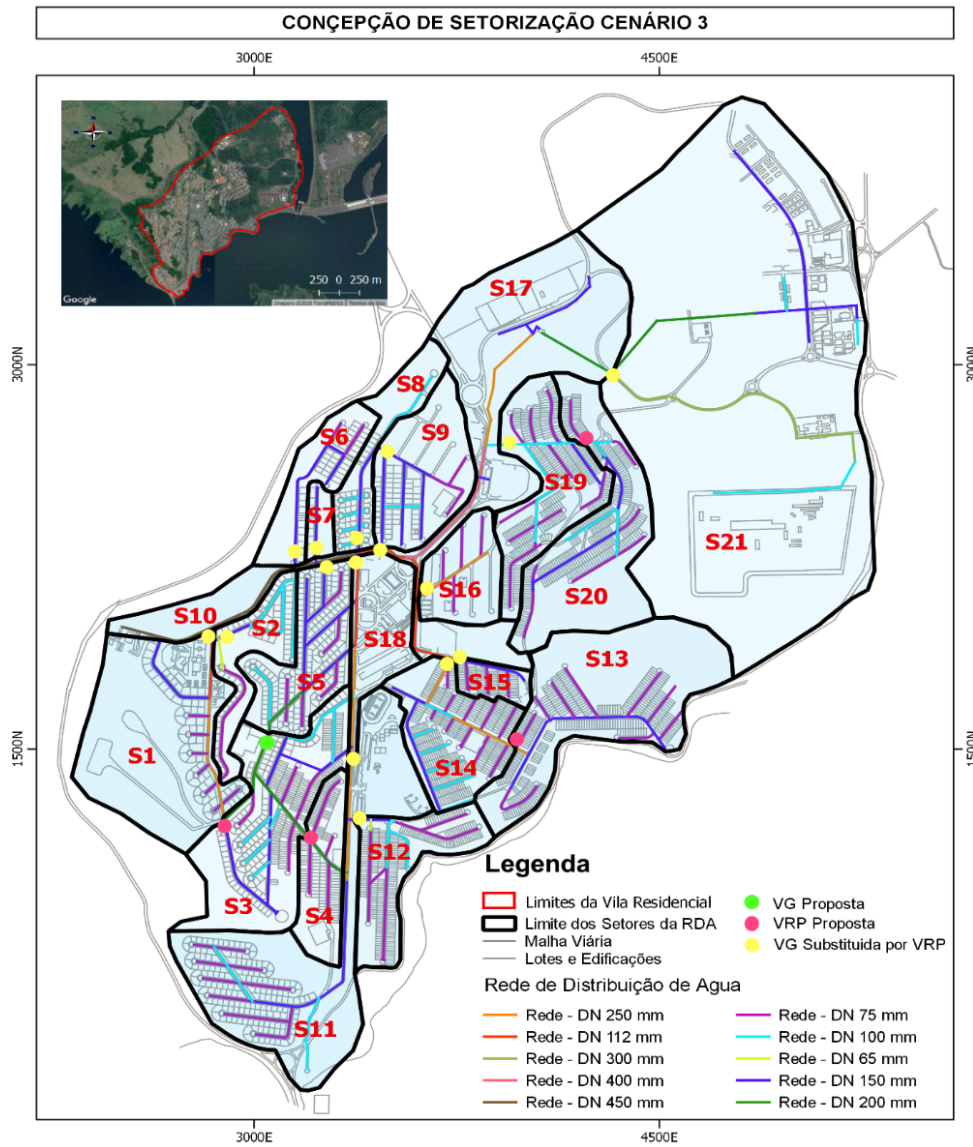
Simulação do Cenário 3.

Este cenário é constituído por 369 nós e 318 trechos, divididos em 21 DMCs (Fig. 11). No cenário modelado existem 42 VG e 20 VRP, totalizando 62 válvulas.

Para a terceira concepção de setorização da rede, também foram manobradas (closed) algumas VGs existentes e substituídas determinadas VG por VRP, além de acrescentar 4 VRP e 1 VG, a fim de limitar as pressões num determinado ponto da rede.

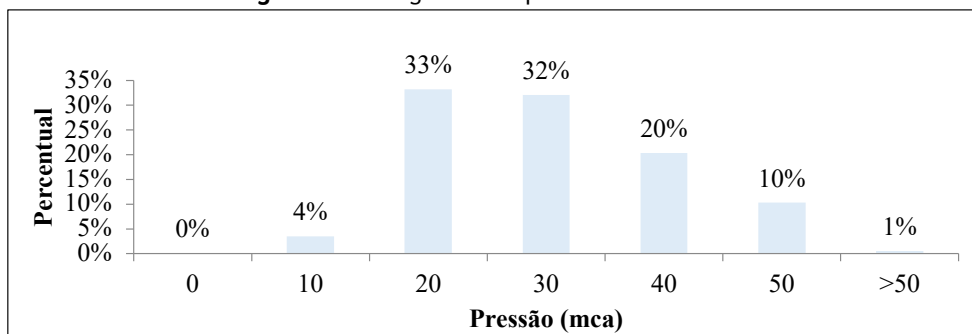
Após a divisão da rede em DMC observou-se que as pressões variam de 10 a 105,84 mca, ao longo das 24 horas do dia, com apenas 1% dos nós acima de 50 mca, conforme apresentado na Fig. 12.

Figura 11: DMCs do cenário 3.



Fonte: Autoras, 2018.

Figura 12: Histograma das pressões do cenário 3.



Fonte: Autoras, 2018.

Este 1% refere-se a apenas um nó, que pertence ao setor 17. Admite-se que a base do problema neste nó esteja unicamente relacionada à topografia, pois está localizado em uma cota muito

elevada em relação ao nó a montante. Na Tabela 7, é possível observar as pressões máxima e mínima de todos os setores do cenário 3.

Tabela 7: Pressões dos setores do cenário 3.

Setor	Pressão Mínima			Pressão Máxima		
	Nó	Cota	mca	Nó	Cota	mca
1	n360	196,5	11,5	n364	159	48,98
2	n300	191	10	n179	167	34
3	n363	159	10	n366	121	47,99
4	n139	121	10	n296	100	31
5	n230	179	11,97	n170	148,5	42,45
6	n133	182,5	10,5	n132	166	27
7	n134	179,5	12,5	n309	177	15
8	n122	187	10,98	n251	156	41,96
9	n254	168	10,99	n129	143	35,98
10	n163	196,5	13,5	n312	163	46,94
11	n304	109	10	n115	80	38,9
12	n84	104	10,95	n206	75	39,96
13	n53	100	10	n80	73,5	36,46
14	n219	136	10,98	n371	100	46,8
15	n318	120	10	n265	97	33
16	n315	130	18	n267	112	36
17	n289	161	10	n344	165	105,84
18	n311	160	11	n226	120	50
19	n338	120	17	n369	91	45,44
20	n191	91	12	n22	99	37,47
21	n185	65	10	n282	54	20,98

Fonte: Autoras, 2018.

Como se pode facilmente averiguar, neste cenário os nós com pressão acima do limite legal (50 mca) quase que foram eliminados, e conseguiu-se baixar as pressões na generalidade do

sistema sem que com isso se comprometesse a pressão dinâmica mínima (10 mca).

A seguir, na Tabela 8, é apresentado o panorama geral dos setores do cenário 3, após a criação dos DMCs.

Tabela 8: Panorama geral do cenário 3

DMC (Setor)	Área (km ²)	Extensão de Rede (km)	Nº de Válvulas	
			VRP	VG
1	0,36	1,62	1	2
2	0,11	1,64	1	0
3	0,29	3,81	1	5
4	0,11	0,95	1	1
5	0,16	2,46	1	3
6	0,11	0,96	1	0
7	0,03	0,30	1	0
8	0,1	1,10	1	0
9	0,18	1,71	1	1
10	0,09	1,10	1	0
11	0,41	3,17	1	2
12	0,15	1,91	1	2
13	0,35	2,40	1	3
14	0,18	2,80	1	2
15	0,04	0,61	1	0
16	0,1	0,91	1	0
17	0,47	2,50	1	7
18	0,12	0,85	1	0
19	0,19	2,60	1	6
20	0,23	2,25	1	5
21	1,51	3,87	1	2
TOTAL	5,29	39,52	21	41

Fonte: Autoras, 2018.

Para a concepção de setorização do cenário 3, a rede de distribuição da Vila Residencial foi dividida em DMC, onde cada DMC é controlado por uma VRP, obtendo-se, assim, a redução significativa na pressão a jusante da válvula.

Etapa 4: Comparação e Escolha do Melhor Cenário Setorizado da Rede de Distribuição de Água

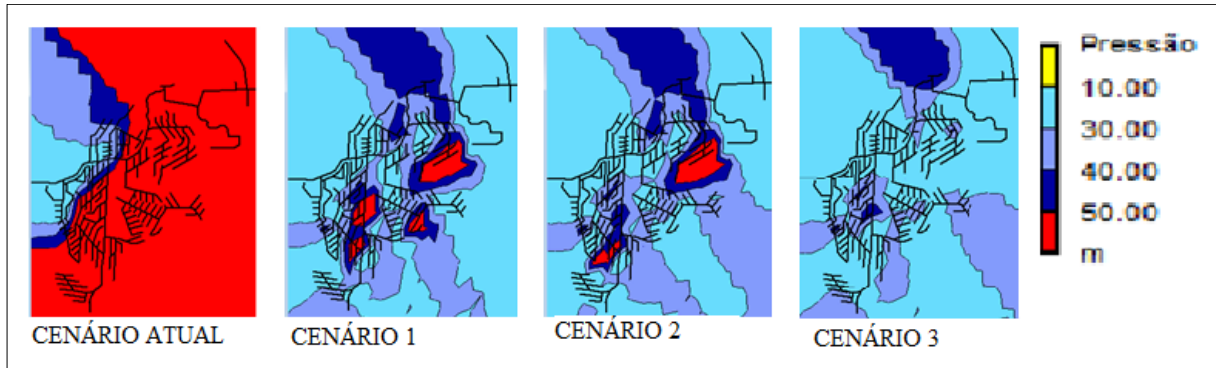
A fim de comparar e escolher a melhor concepção de setorização da rede, foram gerados no EPANET 2.0 gráficos de isolinhas de cada cenário. Utilizou-se também o Microsoft Excel para a análise estatística do comportamento das

pressões ao longo das 24 horas do dia, gerando, assim, um histograma de pressão. Além disso, comparou-se o custo de setorização de cada cenário com base no banco de dados da SEINFRA 024, fornecido pelo software OrçaFascio.

Atividade 4.1: Análise das Pressões na Simulação Hidráulica

Para a análise das pressões foram gerados os gráficos de isolinhas no Software EPANET 2.0, a fim de obter uma visualização das zonas onde as pressões estão acima de 50 mca. A Fig. 13 apresenta os gráficos de isolinhas dos cenários.

Figura 13: Gráficos de isolinhas.



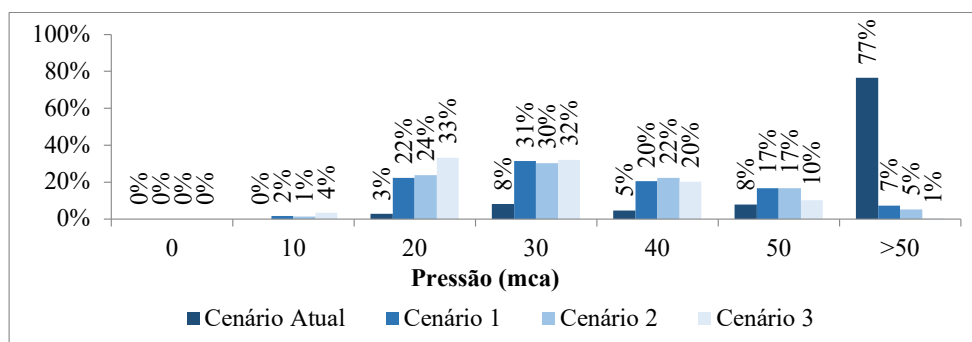
Fonte: EPANET 2.0.

No panorama geral, ao se comparar os gráficos de isolinhas do EPANET 2.0, que representa o nível atual de pressões existentes na rede de distribuição, nota-se uma mudança perceptível na redução relativa às pressões existentes do cenário atual da rede após a introdução das VRP. Os gráficos de isolinhas dos cenários 1 e 2 apresentam valores de pressão acima dos 50 mca em alguns nós da rede; levando-se em consideração os valores máximos, o cenário 3 apresenta-se como sendo a melhor opção.

Atividade 4.2: Análise Estatística das Pressões

Para melhor visualização da variação das pressões em todos os nós da rede de distribuição da Vila Residencial em cada um dos cenários, utilizou-se um histograma horário referente à simulação das 24 horas do dia, cujo objetivo é comparar o comportamento das pressões dos respectivos cenários, conforme mostra a Fig. 14.

Figura 14: Gráfico comparativo dos histogramas das pressões de cada cenário.



Fonte: Autoras, 2018.

Observa-se que nenhum deles apresenta pressões dinâmicas abaixo de 10 mca. Em relação à pressão estática máxima de 50 mca, o cenário 3 apresentou o melhor resultado, atendendo

às recomendações NBR 12218/2017 em 99% das ocorrências. O cenário 1 e o cenário 2 atenderam à norma respectivamente 93% e 98% das ocorrências.

Atividade 4.3: Análise do Custo para a Setorização de cada Cenário.

Ainda que os cenários estejam hidráulicamente otimizados, para a escolha do melhor cenário

deve ser levado em conta o aspecto econômico, ou seja, a quantidade de VRP necessárias para a setorização de cada cenário, conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9: Total de VRPs utilizadas em cada cenário.

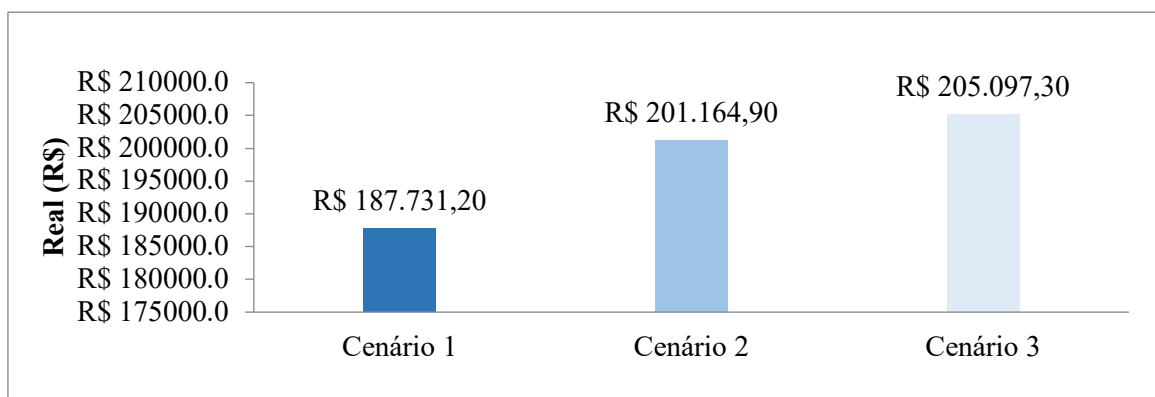
Diâmetro (mm)	Cenário 1 (VRP)	Cenário 2 (VRP)	Cenário 3 (VRP)
100	1	1	2
150	6	4	8
200	2	2	2
250	1	3	5
400	4	4	3
Total	14	14	20

Fonte: Autoras, 2018.

Para determinação do orçamento com a aquisição das válvulas, utilizou-se o *software* OrçaFas-cio para o levantamento do preço unitário das

VRPs, de acordo com os diâmetros desejados de cada cenário. O orçamento está bem representado no gráfico da Fig. 15.

Figura 15: Custo total de cada cenário para aquisição das VRPs.



Fonte: Autoras, 2018.

O custo total com a aquisição de 14 VRPs propostas para a setorização da rede no cenário 1 é de R\$ 187.731,20. No cenário 2, tem-se um custo de R\$ 201.164,90 para a compra de 14 VRPs, havendo um aumento de R\$ 13.433,70 quando comparado ao cenário 1. Já no cenário 3, o custo com a compra das 20 VRPs foi de R\$ 205.097,30, um aumento de R\$ 17.366,10 quando comparado ao cenário 1.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Face às características das concepções dos cenários, visando beneficiar o planejamento e o controle da operação e o controle das pressões, constatou-se que, dos três cenários propostos, o cenário 3 é o que pode ser caracterizado como a melhor proposta de setorização, pois apresentou o melhor desempenho hidráulico, apesar de não apresentar o menor custo de implantação.

Contudo, ambas as concepções de setorização apresentadas possuem suas vantagens e desvantagens quando analisados o custo-benefício, assim, a cargo da entidade gestora a escolha da setorização da rede.

Por fim, a melhor setorização da rede é aquela que torna mais fácil qualquer atividade de manutenção, por atingir um número menor de unidades de consumo. Quanto menor o setor de manobras, menores serão as chances da ocorrência de interrupções no abastecimento causadas por manutenção de rupturas.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 12218:2017 – Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2017.

BEZERRA, S. T. M. et al. Controle Automático de Pressão em Sistemas de Distribuição de Água. Capítulo 1. In: Heber Pimentel Gomes (Org). **Sistema de Saneamento: Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2010. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/wp-content/uploads/arquivos/LiVGo_Eficiencia_Energetica.pdf> Acesso em: 12 abr. 2018.

DIJANA, F. A.; OGAWA, S. C. C. P. **Análise Comparativa dos Modelos Hidráulicos Epanet, Water CAD e Sistema UFC para Sistemas de Abastecimento de Água**. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia Ambiental) UFRJ/ Escola Politécnica, 2015. Rio de

Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013745.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

GOMES, R. J. **Modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas de distribuição de água**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil na especialidade de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambientais) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2011. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/17988>>. Acesso em: 05 jul. 2018.

MOTTA, R. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-18082010-171334/pt-br.php>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

OLIVEIRA, F.M. R. **Redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água: otimização das pressões numa grande rede de distribuição de água – aplicação ao caso do porto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2013. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:eoZDxEzs22EJ:https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.show_file%3Fpi_gdoc_id%3D360844+&cd=7&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 31 mar. 2018.

ORÇAFASCIO. **Software para Engenharia**. STABILE-SBC SISTEMAS E CONSULTORIA DE CUSTOS LTDA. Disponível em: <<https://www.orcafascio.com/>>. Acesso em: 25 de jun. 2018.

ROSSMAN, L. A. et al. **EPANET 2.0: Manual do Usuário**. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/epanet/manual_do_epanet_brasil.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2018.

SEINFRA. Secretaria da Infraestrutura do Estado do Ceará. **Tabela de Custo Unificada- Versão 024**. Fortaleza, CE, 2017. Disponível em: <<http://www.seinfra.ce.gov.br/index.php/downloads/category/24-tabela-de-custos-verso-024>>. Acesso em: 25 jun. 2018.